

## **Evaluación del uso de paneles solares como elemento de sombreado en invernaderos**

I. Serrano<sup>1</sup>, M.A. Muñoz-García<sup>1</sup> y MC. Alonso-García<sup>2</sup>, N. Vela<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LPF-TAGRALIA, E.U.I.T. Agrícola, UPM, CEI-MONCLOA Avda. Complutense s/n; 28040 Madrid,  
[irene.sburillo@alumnos.upm.es](mailto:irene.sburillo@alumnos.upm.es) Tlf: +34 616 88 89 32

<sup>2</sup>PV-LabDER, CIEMAT, CEI-MONCLOA Avda. Complutense s/n; 28040 Madrid,

### **Resumen**

El objetivo principal de este trabajo experimental, es evaluar el uso de paneles solares como opción de elemento de sombreado en viveros, tanto de gran escala como de pequeña superficie. Esta opción podría elegirse tanto en el caso de no disponer de red de suministro eléctrico cercano así como en el caso de preferir no depender de una fuente de energía eléctrica exterior. Como hecho novedoso, se ha elegido paneles solares flexibles de capa fina y poco peso, que serían situados en la cubierta del invernadero. Dicha elección permite que los paneles se adapten a la forma de la cubierta, sea cual fuere.

La electricidad generada por los paneles puede ser usada para reducir la factura eléctrica, en sistemas conectados a la red o bien como única fuente de energía eléctrica, en sistemas no conectados a red (autónomos). Además, los paneles pueden sustituir total o parcialmente a los elementos de sombreado.

Los paneles elegidos en este estudio son flexibles de triple unión de silicio amorfo. Son totalmente opacos y fueron evaluados durante su utilización en un invernadero situado en el complejo del Vivero de Estufas de El Retiro (Madrid). El invernadero empleado para el estudio es de tipo capilla, a un solo agua y orientado al sur. Su estructura es de acero y la cubierta es de cristal.

El análisis de los datos de irradiancia en el exterior y en el interior del invernadero, mostró que los valores de irradiancia tanto en zonas con sombreado mediante panel, como en zonas con sombreado mediante malla, eran mayores altos en zonas más bajas, debido a la entrada de luz por las ventanas laterales. Asimismo, se observa que en ambas zonas la diferencia de irradiancia no era tan alta como se podía prever y que el cultivo siguió su desarrollo normal.

Por último, los datos de energía producida por los dos paneles usados en el experimento, permitieron extrapolar el ahorro en la factura eléctrica para un caso óptimo de cuatro paneles, cuyo acoplamiento al inversor utilizado es mejor.

Palabras clave: Módulo Fotovoltaico, Invernadero, Energía solar, Sombreo

### **Evaluation of the use of solar panels as a shade in greenhouses**

#### **Abstract**

The main objective of this experimental work is to evaluate the use of solar panels as an alternative for use in commercial nurseries, both large scale and small area. Its use can be chosen both in the case of not having a mains supply and close to prefer if not dependent on a source of electrical power outside. As new fact has been chosen flexible solar panels and lightweight thin layer, which would be located on the roof of the greenhouse. Such a choice enables the panels to conform to the shape of the roof, whatever.

The electricity generated by the panels can be used to reduce the electric bill in networked systems or as a sole source of electric power, non-network systems (autonomous). In addition, the panels can replace all or part of the elements of shading.

The panels selected in this study are flexible triple-junction amorphous silicon. They are completely opaque and were evaluated by use in a greenhouse located in the complex Vivero de Estufas, El Retiro (Madrid). The gases used for the study is an chapel, a single water and facing south. Its structure is steel and the cover is glass.

Data analysis irradiance on the outside and inside of the greenhouse, showed that both values shading with panel areas, such as areas with shading with mesh, were higher in lower areas due to the entry of light through the side windows. It is also noted that in both areas the difference in irradiance was not as high as could be expected and that the crop continued normal development.

Finally, the data of energy produced by the two panels used in the experiment, allowed extrapolate the electric bill savings for a four-panel optimal case, the coupling to the inverter used is better.

**Keywords:** Photovoltaic Module, Greenhouse, Solar Energy, Shading

## Introducción y/o Justificación

Actualmente existen estudios previos a este trabajo, en muchos de ellos, se utilizan módulos solares de silicio amorfo flexible o traslucidos. Sin embargo, a la hora de llevar a la práctica este tipo de instalaciones a nivel comercial, se limitaron a utilizar paneles de silicio cristalino, perdiendo de esta forma las diversas que ofrecen los materiales flexibles. Por otro lado, una de las ideas de este estudio, era que la instalación del sistema solar se realizase sobre invernaderos ya contruidos y para cualquier material, incluso el plástico.

Debido a los precios actuales de la electricidad, a los sistemas fotovoltaicos cada vez más económicos y los problemas con los que se encuentran muchas empresas debido a lejanía del tendido eléctrico, ésta se convierte en una solución muy ventajosa en todos los sentidos: ahorro de espacio, ahorro económico, ayuda a la conservación del medio ambiente, además de proporcionar la sombra necesaria para el acondicionamiento dentro del invernadero.

## Material y Métodos

En primer lugar, se estudió cual sería la colocación idónea dado el número de módulos fotovoltaicos de los que se disponía para el estudio en la cubierta del invernadero y teniendo en cuenta cómo afectarían las sombras de los mismos en el cultivo. Según describían A. Yano et al. (2009) en su investigación, es posible la instalación de paneles traslucidos en el interior del invernadero. Sin embargo, teniendo en cuenta el objetivo de nuestro análisis, se decidió que los módulos fotovoltaicos deberían situarse en el exterior del invernadero, ofreciendo la posibilidad de complementar el sombreo en el interior con mallas durante los meses de mas radiación en caso que fuese necesario.

Para llevar a cabo este trabajo se disponía de dos módulos de silicio amorfo flexible de la serie PVL-144 de Uni-solar, con las siguientes características: Potencia máxima (P<sub>max</sub>) : 144 Wp; Tensión en el punto de P<sub>mx</sub> (V<sub>mp</sub>): 33 V; Corriente en cortocircuito (I<sub>sc</sub>): 5,3 A; Fusible en serie: 8 A; Longitud: 5600 mm; Anchura: 909 mm; Peso: 9,93 kg/m<sup>2</sup>

Por otro lado, se usaron un inversor y sistema de monitorización de la marca Steca con las siguientes características: Tensión máxima inicial: 135 V; Tensión máxima de entrada: 135 V; Tensión mínima de entrada: 64 V; Potencia máxima de entrada: 320 W; Potencia FV máxima recomendada: 375 Wp; Tensión de salida nominal: 230 V; Corriente máxima de salida: 1,5 A; Potencia nominal y máxima de salida: 300 W.

Se sabía que, dadas las características del inversor a utilizar, el rendimiento no sería del 100%, ya que el inversor tendrá una entrada no óptima debido al uso de solo dos módulos con las características dadas. Sin embargo, los datos obtenidos se consideraron suficientes para los objetivos que se desean cubrir en este estudio. Para la colocación de los módulos, se escogió un invernadero tipo capilla, a un solo agua, con una inclinación de 13° orientación sur, compuesto por una estructura de doble vidrio templado y soporte de acero

Para llevar a cabo la investigación se dividió el trabajo en tres fases:

1. Durante la primera fase, se procedió a la estabilización en potencia mediante la exposición a la luz solar por el que debe pasar este tipo de tecnología de silicio amorfo. A su vez, se realizaron las primeras mediciones de irradiancia, tanto en el exterior como en el interior del invernadero, para lo cual, se usó una célula de referencia. Tras la estabilización, se instaló el sistema fotovoltaico en el invernadero.

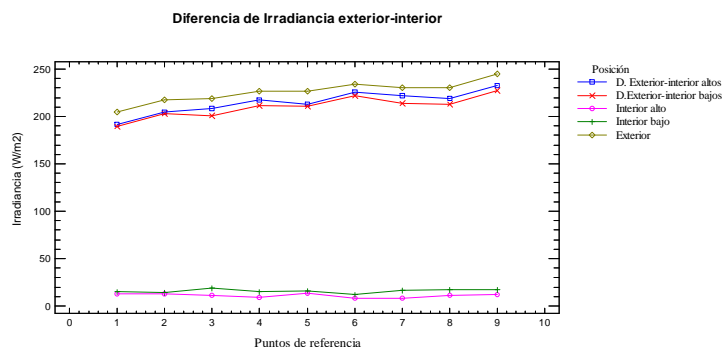


**Figura 1. Instalación de los módulos fotovoltaicos y el inversor en el invernadero escogido para llevar a cabo el estudio.**

2. Una vez instalados los módulos, se llevó a cabo la fase 2, en la que se retiró parcialmente la malla, con la intención de comparar la irradiancia interior con y sin malla de sombreo, formando de esta forma dos zonas:
  - Zona 1: en ella se retiró la malla, por lo que el interior del invernadero quedaba sombreado únicamente por los paneles fotovoltaicos. En esta zona se tomaron los siguientes puntos de medida:
    - Puntos altos: 1Ha, 1Hb, 1Hc.
    - Puntos bajos: 1La, 1Lb, 1Lc.
  - Zona 2, en la que no se retiró la malla, por lo que la sombra era proporcionada por esta misma y por los módulos, teniendo en su interior los siguientes puntos para las medidas de irradiancia:
    - Puntos altos: 2Ha, 2Hb, 2Hc.
    - Puntos bajos: 2La, 2Lb, 2Lc
3. En la tercera y última fase se realizó el análisis de los datos, tanto de irradiancia como de la eficiencia del sistema, así como una estimación de la rentabilidad del sistema a lo largo de la vida útil de los módulos.

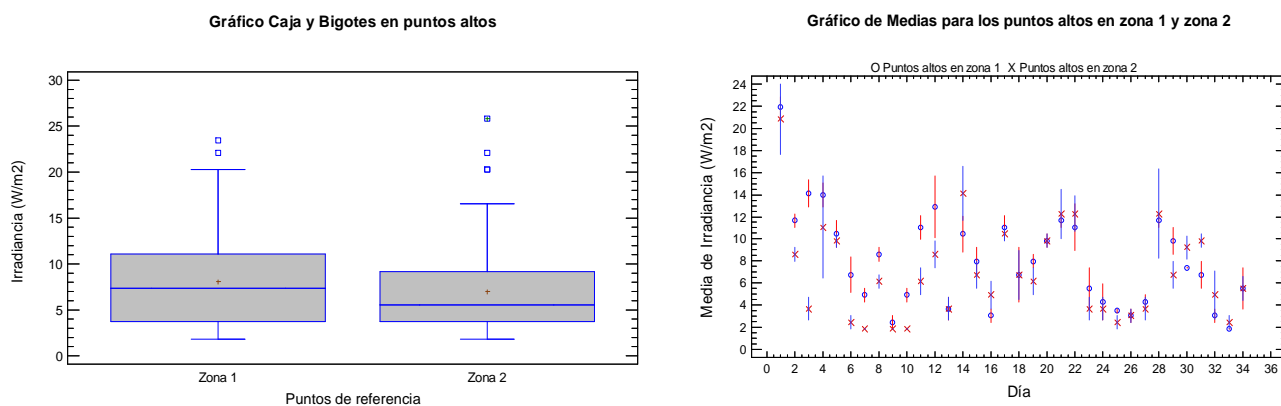
## Resultados y Discusión

En las medidas iniciales de irradiancia tomadas durante la fase 1, los resultados obtenidos determinan que existe una diferencia de iluminación entre el exterior y el interior de entre un 15% y un 18% según la altura a la que se mida, tal y como se puede observar en la gráfica siguiente:



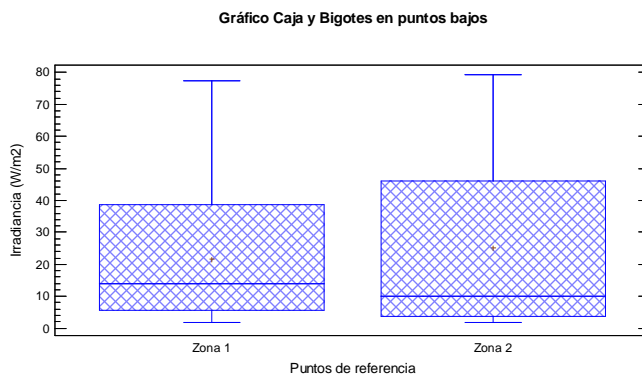
**Figura 2: Irradiancia en el exterior y el interior , en puntos altos y puntos bajos medidos durante la fase 1.**

Tras confirmar que estos valores son los normales, ya que el vidrio supone una pérdida de un 27% y la malla de sombreo ofrece una sombra del 55%, y tras el periodo de estabilización de potencia de los módulos, se procedió a la instalación de los mismos en el invernadero. En esta fase del proyecto, se determinó que la diferencia entre ambas zonas para los puntos era mínima, tal y como se puede comprobar en las graficas resultantes:



**Figura 3: Análisis descriptivo de irradiancia en los puntos altos de las zonas 1 y 2.**

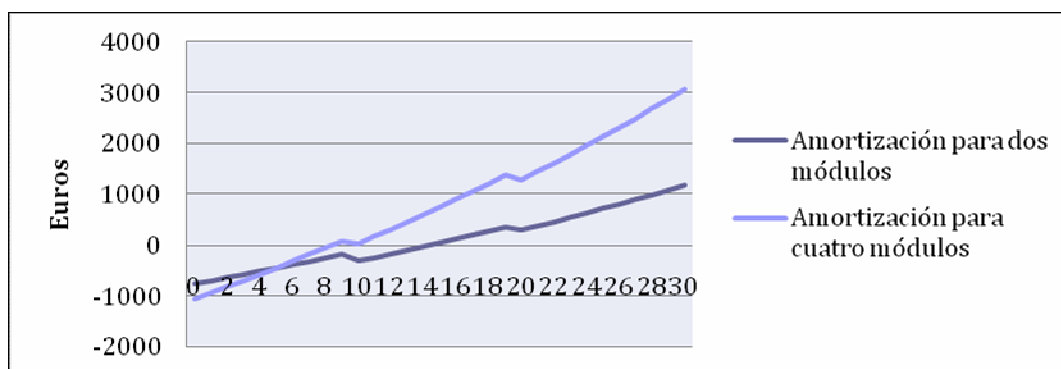
La misma situación se encuentra tras las medidas realizadas en ambas zonas pero para los puntos bajos, en ambas zonas no se aprecian grandes diferencias, incluso los valores son más estables a este nivel.



**Figura 4: Diferencias de los puntos bajos medidos en ambas zonas.**

Sin embargo, se vuelve a dar la misma situación que en las medidas realizadas en la fase 1: si se comparan las medidas de las zonas altas y las bajas entre sí, da como resultado que a nivel del cultivo la irradiancia es mayor, gracias a la entrada de la luz a través de las ventanas laterales.

A lo largo del trabajo, el sistema entregó un total de 39,791 kWh de energía eléctrica que supone una eficiencia total del 68%. Con todos estos datos se realizó el cálculo de la amortización y la serie temporal para los años de vida útil del sistema fotovoltaico. Se estima que en el año 16 se amortiza el sistema, momento desde el cual, el flujo de caja acumulado pasa a ser positivo debido al ahorro en la factura de la luz. Para comprobar que realmente el sistema es efectivo, se realizan varios supuestos, con diferente número de módulos en la instalación. Teniendo en cuenta las características del inversor utilizado en este caso, la amortización utilizando 4 módulos se produce en el año 11, por lo que el ahorro es mayor, como se observa en la siguiente gráfica:



**Figura 5: Estimación del periodo de amortización para el caso de 2 módulos y para 4 módulos instalados.**

## Conclusiones

Para un invernadero tipo capilla a un solo agua, construido en acero y vidrio templado, en el cual se utiliza malla de sombreo, la irradiancia en el interior está entre el 15% y el 18% de la medida en el exterior, dependiendo de la altura a la que se tomen las medidas. Sin embargo, una vez instalados los módulos y retirada parcialmente la malla, dicha irradiancia cae hasta el 10% de la exterior, por lo que la combinación de paneles solares y malla de sombreo ofrece una mayor capacidad de sombreo.

A su vez, se observa que en la zona sombreada con módulos fotovoltaicos además de con malla, los valores de irradiancia son semejantes a los medidos si solo se sombrea con malla cuando se comparan puntos a la misma altura. Sin embargo, sí existe diferencia entre alturas: los niveles de irradiancia medidos al nivel del cultivo son más elevados que los medidos en puntos más cercanos a la cubierta, oscilando entorno a valores de un 5% y un 3% de irradiancia menos respecto al exterior.

Se calculó la eficiencia para el periodo del estudio de campo, dando como resultado un 68% respecto al óptimo. Un dato muy positivo teniendo en cuenta que la inclinación de los módulos no era la óptima y que al usar solo dos paneles, el voltaje de entrada al inversor no era el ideal. Durante el estudio, la energía entregada por el sistema fue de 39,791 kWh. Esto supone que, utilizando los datos de irradiación media anual en la Comunidad de Madrid, se podrían obtener anualmente 380 kWh con este sistema. Si además el sistema tuviese las condiciones óptimas de inclinación y voltaje en el inversor, la entrega de energía anual podría alcanzar los 528 kWh. En cuanto al rendimiento económico, reseñar

en primer lugar, que se trata de una investigación con fondos muy limitados, por lo que no se pudo optimizar su rendimiento. Aún así, el sistema se amortizaría a los 16 años. Sin embargo, en un supuesto donde se pudiera elevar el número de módulos y ajustar la inclinación, el periodo de amortización se reduciría a 11 años. Ambos datos deben tener en cuenta que el periodo de vida útil de un sistema fotovoltaico se acerca a los 30 años.

## Agradecimientos

Agradecer al equipo del CIEMAT su trabajo y el material cedido, así como al Ayuntamiento de Madrid y al personal del parque de El Retiro de Madrid por su colaboración, haciendo posible, con ello, la realización de este trabajo.

## Bibliografía

- Cabrera, F.J.; Baille, A; Lopez, J.C; Gonzalez-Real, M.M; Perez-Parra, J. (2009) Effects of cover diffusive properties on the components of greenhouse solar radiation. Biosystems Engineering 103, 344-356.
- Litago, J; Baptista, F.J; Meneses, J.F; Navas, L.M; Bailey, B.J; Sanchez-Giron, V. (2005) Statistical Modelling of the Microclimate in a Naturally Ventilated Greenhouse. BiosystemsEngineering 92 (3), 365–381.
- NayakSujata; Tiwari, G.N. (2008). Energy and exergy analysis of photovoltaic/thermal integrated with a solar greenhouse. Energy and Buildings 40, 2015–2021.
- Yano, A; Kadowaki, M; Furue, A; Tamaki, N; Tanaka, T; Hiraki, E; Kato, Y; Ishizu, F; Noda, S. (2010). Shading and electrical features of a photovoltaic array mounted inside the roof of an eastwest oriented greenhouse. Biosystems Engineering 106, 367 – 377.
- Yano, A; Furue, A; Kadowaki, M; Tanaka, T; Hiraki, E; Miyamoto, M; Ishizu, F; Noda, S. (2009) Electrical energy generated by photovoltaic modules mounted inside the roof of a north–south oriented greenhouse. Biosystems Engineering 103, 228-238.